Japan Concrete Institute

論文　表面含浸工法による土木構造物の耐久性向上に関する研究

叶　健児[*1]・守屋　進[*2]・石川　一郎[*3]・林　大介[*4]

要旨：表面含浸工法は，コンクリート表層部に保護層を設けることにより，外部からの劣化因子の浸透を抑制することができる比較的安価で施工の簡便なコンクリート耐久性向上技術の一つである。本研究では，シラン系やシリコーン系，けい酸塩系の表面含浸材による土木コンクリート構造物の高耐久化について，全国5ヶ所で実施しているコンクリート試験体による暴露試験の2年間の評価と室内促進試験を行った。その結果，表面含浸材が深く浸透するものは初期，暴露1年後，2年後の遮水性，遮塩性に優れていた。

キーワード：コンクリート，暴露，表面含浸，浸透，シラン，シリコーン，けい酸塩

1. はじめに

コンクリートの経年劣化には，塩害やアルカリ骨材反応，凍結融解，中性化などによるものがある。また，かぶりの薄い壁高欄などでは，自動車排気ガスなどに起因する酸性雨による劣化が懸念されている。中性化や塩害，アルカリ骨材反応などのコンクリート構造物の劣化対策は確立されているが，コンクリート施工時の不備は耐久性に大きく影響するので，良好な施工がなされなかった場合，対策が直ちに実施できない場合などに比較的安価で簡便にできる補助対策が求められている。

表面含浸工法は，コンクリート表面の外観を著しく損ねることなく，簡便に施工できる。また，経年後に再施工する場合，表面含浸材を再度含浸させるだけで効果を発揮できる[1]などの特長を有する工法である。しかしながら表面含浸工法については，その性能評価方法が確立されておらず，実際の構造物に即した屋外での研究報告も少ない。そこで，表面含浸材のコンクリート保護効果に関する評価方法の確立，その耐久性の評価を目的としてシラン系やシリコーン系，樹脂系，けい酸塩系の16種類の表面含浸材を塗布したコンクリート試験体を用い，全国5ヶ所に5年間屋外暴露し，耐久性を検討することを計画した。今回，表面含浸材を塗布したコンクリート試験体の室内促進試験および2年間暴露した試験体の外観，遮水性，遮塩性，中性化抑制効果を評価した。

2. 試験概要

表－1に示す16種類の表面含浸材をそれぞれ

表－1　評価した表面含浸材

番号 No	主成分	有効成分 (%)	塗布量 (g/m²)
BL	ブランク	－	－
1	シラン系	56	150
2	シラン系	40	200
3	シラン系	20	200
4	シラン系	20	200
5	シラン系	30	200
6	シラン系	20	250
7	シリコーン系	80	200
8	シリコーン系	80	200
9	シリコーン系	80	200
10	シリコーン系	12	200
11	シリコーン系	90	300
12	ｼﾗﾝ＋ﾌｯ素樹脂	50	100
13	フッ素樹脂	3	200
14	けい酸系	40	250
15	けい酸系	40	250
16	けい酸系	40	250

*1 住友精化（株）　機能樹脂事業部　機能性樹脂部（正会員）
*2 （独）土木研究所　材料地盤研究グループ　主任研究員
*3 アトミクス（株）　道路事業部技術部　景観グループ
*4 鹿島建設（株）　技術研究所　材料・LCEグループ（正会員）

NII-Electronic Library Service

表－２　コンクリート供試体の配合

組骨材の最大寸法 (mm)	スランプ (cm)	水セメント比 (%)	空気量 (%)	細骨材率 (%)	単位量 (kg/m^3)				
					水 *W*	セメント *C*	細骨材 *S*	粗骨材 *G*	混和剤 *A*
20	12±2.5	54.5	4.5±1.5	46.4	169	310	825	977	4.030

表－３　暴露試験場所

暴露場所	表記	年平均気温，湿度	環境条件などの詳細
建設材料研究施設（茨城県つくば市）	つくば	18.4℃，75%	比較的温暖な環境にある．
朝霧環境材料観測施設（静岡県朝霧高原）	朝霧	20.5℃，68%	高原に位置し，朝晩の気温低下が大きい環境にある．
沖縄建設材料耐久性研究施設（沖縄県大宜味村）	沖縄	25.1℃，76%	亜熱帯の沿岸部に位置し，飛来塩分の影響を強く受ける環境にある．
北陸建設材料耐久性研究施設（新潟県親不知）	親不知	17.0℃，73%	冬期に強い季節風が吹く沿岸部に位置する．
東京建設材料研究施設（東京都品川区大井南）	東京	19.5℃，64%	交通量の多い道路脇に位置し，降雨の影響を受けにくい場所にある．

表－４　試験項目および試験方法

項目	検討方法	暴露場所	試験方法
外観	暴露試験	つくば，東京，朝霧，親不知，沖縄	初期，暴露１年後，２年後の供試体の目視観察
表面撥水性	暴露試験	つくば，東京，朝霧，親不知，沖縄	初期，暴露１年後，２年後の供試体を対象として，表面に水を噴霧し，目視によって定性的に評価
含浸深さ	暴露試験	東京，親不知，沖縄	初期，暴露１年後，２年後の供試体を割裂して水に浸漬し，濡れ色にならない範囲を測定
透水性	暴露試験	つくば	初期，暴露１年後，２年後の供試体を十分に乾燥させた後，塗布面にロートを立て水深250mmとなるように注水し，24時間後の透水量を測定
透湿性	暴露試験	朝霧	初期，暴露１年後，２年後の供試体を十分に乾燥させた後，水に７日間浸漬し，塗布面以外の５面をシールして供試体質量の経時変化を測定
遮塩性	促進試験		供試体を30℃の10%塩化ナトリウム溶液に90日間浸漬し，表面より10mmごとに30mmまでの深さの塩化物イオン含有量を測定．
	暴露試験	親不知，沖縄	暴露１年後，２年後の供試体の塩化物イオン含有量を測定
中性化抑制性	促進試験		供試体を相対湿度50%，10%炭酸ガス条件下に65日間静置，割裂面へのフェノールフタレイン溶液噴霧によって中性化深さを測定．
	暴露試験	東京，親不知，沖縄	暴露１年後，２年後の供試体の中性化深さを測定

規定量，**表－２**に示す配合のコンクリート（100×100×100mm）の対面する２面に塗布し，他の４面はエポキシ樹脂塗装を施した試験体を作成し室内促進試験および暴露試験に用いた。[2)]

暴露試験は，表面含浸材を塗布した面を上下にして，**表－３**に示す５ヶ所の暴露場で行なった。また，評価に用いた暴露試験体とその評価試験の項目および方法を**表－４**に示す。

3. 試験結果および考察

3.1 外観および表面撥水性

初期および暴露２年後の表面撥水性の測定結果を**表－５**に示す。初期（塗布後約１ヶ月後）では，シラン系，シリコーン系や樹脂系材料はいずれも良好な撥水性を示していた。また，表面含浸材を塗布していないコンクリート試験体（以下，ブランク，図・表中ではＢＬと表示する）やけい酸塩系材料では撥水していないことを確認した。16種類の表面含浸材はいずれもコンクリートの外観を著しく変化させることはなかった。

暴露２年後では，シラン系（No.1）とシリコーン系（No.10）が撥水性を維持していたが，他の材料では撥水性の低下が認められた。また暴

NII-Electronic Library Service

露場所の比較では，つくばおよび沖縄の試験体の撥水性が低下する傾向があった。一方，東京で暴露した試験体には撥水性が維持されていたものが多く，撥水性を示さないブランクやけい酸塩系材料(No.14-16)もやや撥水が認められた。東京は暴露場所付近の交通量が多く，全ての試験体において，他の暴露場所には見られなかった暗色化が認められたことから，この撥水性には自動車排気ガスなどの油性成分汚れが影響を及ぼしている可能性が高いと推察される。

3.2 含浸層深さ

撥水性を有する表面含浸材がコンクリートに浸透し，固着するとコンクリート表面部分で吸水を防止する層を形成する。この層はコンクリートを割裂し，水に浸すことで容易に区別，測定することができる。本報では，この層の厚さを含浸層深さと呼ぶ。

初期および暴露 2 年後（親不知，沖縄および東京）の含浸層深さを**図－1**に示す。シリコーン系（No.7-9,No.11），シラン系（No.3,No.6）および樹脂系（No.12）の表面含浸材では，全ての暴露試験体で明確な含浸層が見られ，シリコーン系（No.8,No.9,No.11）では 3mm 以上の含浸層深さが観察された。しかしシラン系（No.1,No.2,No.4,No.5），シリコーン系（No.10），樹脂系（No.13）では全体に含浸層深さは浅く，沖縄暴露試験体では含浸層が確認できない部分もあった。この結果は，**表－1**に示す有効成分と塗布量の多いものが深い含浸層を形成することを示唆するが，例外もあり，有効成分量と含浸深さの関係は今後の検討課題である。一方，けい酸塩系（No.14-16）は，この方法では含浸層は確認できなかった。

また，全体的に含浸層が経年に伴って減少する傾向を示しているが，増加しているものもあり，今後，試験体のばらつきを含めた検討を継続することが必要と考えられる。

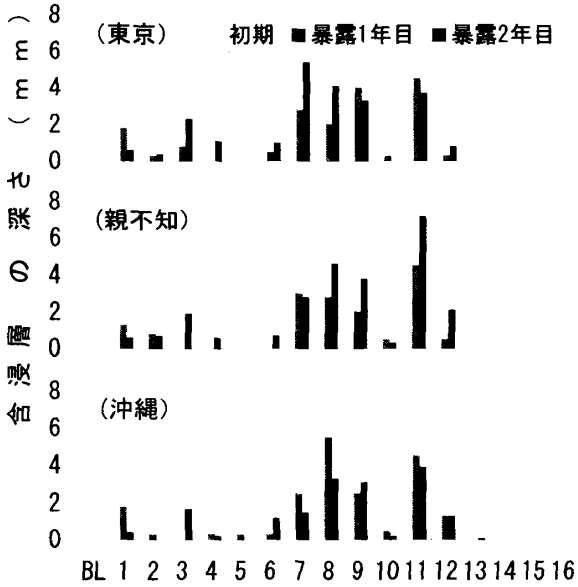
3.3 遮水性

初期および暴露（つくば）1 年後，2 年後の透水試験結果を**図－2**に示す。図はブランクに対

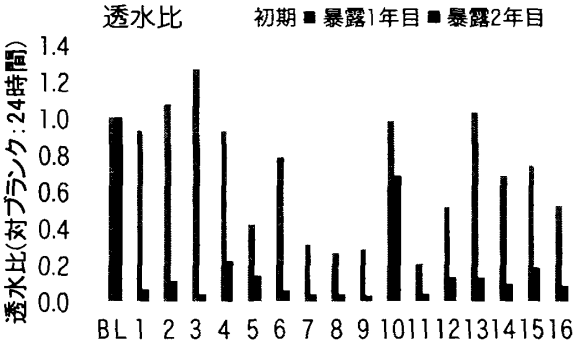
表－5　表面撥水性

番号 No	初期	暴露2年後の表面撥水評価 (※1)				
		つくば	東京 (※2)	朝霧	親不知	沖縄
BL	×	×	△	×	×	△
1	△	○	○	○	○	○
2	○	×	△	△	○	×
3	○	△	○	○	△	△
4	○	×	△	△	△	△
5	○	×	△	△	×	△
6	○	×	△	△	△	△
7	○	×	△	△	×	×
8	○	×	○	△	×	△
9	○	×	△	△	△	×
10	○	○	○	○	○	△
11	○	×	△	△	○	△
12	△	△	○	△	△	×
13	○	△	○	○	×	×
14	×	×	△	×	×	×
15	×	×	△	×	×	×
16	×	×	△	△	×	×

撥水性評価：○：撥水，△：やや撥水，×：撥水なし
※1：試験は暴露上面を用いた。
※2：東京暴露は首都高速道路側の側面用いた。



図－1　含浸層深さ（平均値）



図－2　透水量測定

NII-Electronic Library Service

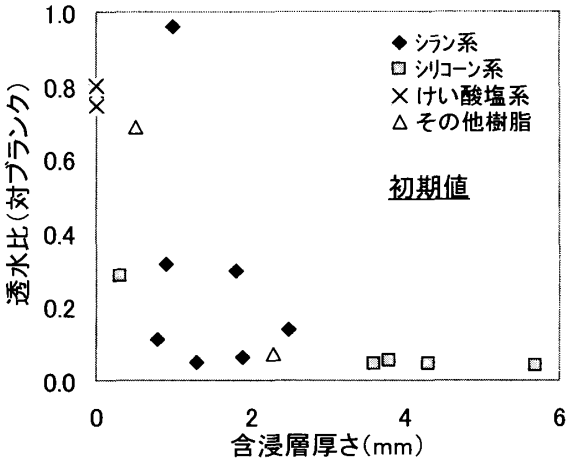
する比で表示した。今回試験した材料を透水比の小さなものから並べると シラン系，シリコーン系の No.9,No.8,No.3, No.7,No.11 であった。これらの材料は，**図－1**で示す深い含浸層を形成する材料である。一方，含浸層の見られないけい酸塩系（No.14,No.16）も暴露 2 年後では明らかに透水量，透水比の減少が見られた。このことからシラン系やシリコーン系のような撥水タイプの材料は，初期から透水を抑制するのに対し，けい酸塩系の材料では透水抑制効果を発揮するまでに 1，2 年の期間を必要とすることが考えられる。

初期における透水比と含浸層深さの関係を**図－3**に示す。同図より，材料の分類に係わらず，含浸層が厚くなるに従って透水比が小さな値となる傾向が認められた。このことから，表面含浸材によって遮水性（高い透水抑制性）を得るためには，材料をより深くまで含浸させることが重要と考えられる。

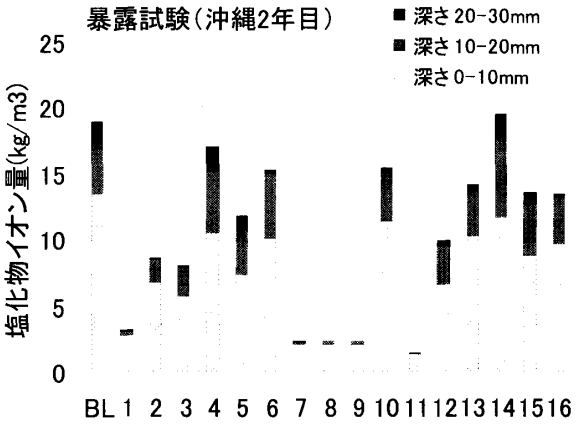
また初期と暴露後の透水量の値に着目すると，暴露後のほうが初期よりも低い値を示す傾向にあった。この理由として，コンクリートの水和反応の進行の影響などが考えられるが，今後の試験結果を踏まえた考察が必要と考えられる。

3.4 遮塩性

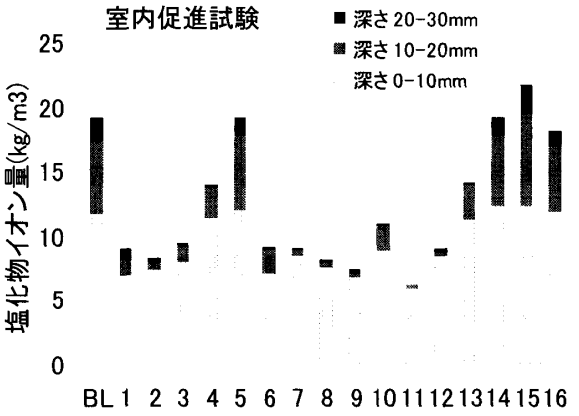
暴露（沖縄）2 年後における塩化物イオン量測定結果を**図－4**に示す。図では，沖縄暴露した試験体の表面から 10-20mm の塩化物イオン量が少ない順に表示した。10-20mm の範囲の塩化物イオン量に着目すると，大部分の材料がブランクよりも小さな値を示しており，シリコーン系（No.11,No.7-9），シラン系（No.1）が 1.0kg/m^3 以下の小さな値を示した。また， 20-30mm の範囲においては，より多くの材料がブランクに比べて小さな値を示す傾向が認められた。このことより，表面含浸材は，塩化物イオンの浸透を完全に遮断するものではないが，コンクリート内部への浸入速度を抑制することが可能な材料と考えられる。また，シリコーン系（No. 7-9,No.11）は遮水性にも優れ，深い含浸深さを示す材料であったことから，有効成分量・含浸深さ・遮水性・遮塩性の間に相関がある可能性が高いと考えられるが，例外やばらつきも多く，今後検討課題である。



図—3　透水比と含浸層さの関係



図—4　塩化物イオン量（沖縄 2 年暴露）



図—5 塩化物イオン量（促進試験）

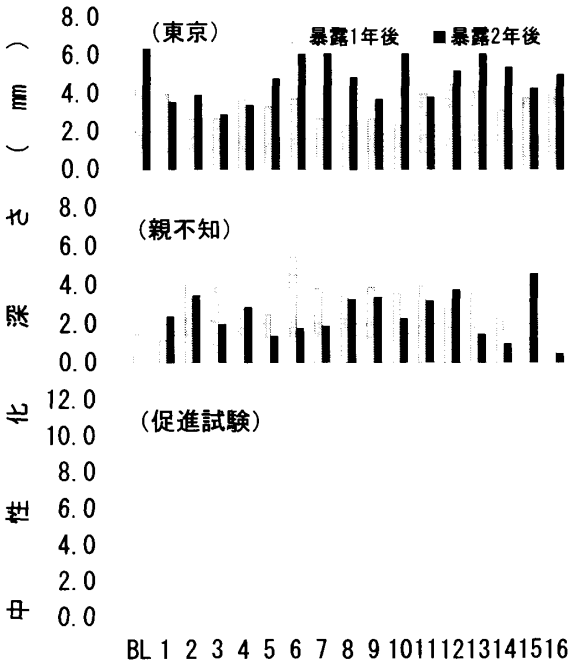
NII-Electronic Library Service

室内促進試験の塩化物イオン濃度を図－５に示す。室内促進試験においても暴露試験とほぼ同様の傾向が得られたが，室内促進試験では，沖縄での暴露に比べ，遮塩性に優れる材料（No.1,No.7,No.8,No.9,No.11）の表面 0-10mm の塩化物イオン量が多く，暴露試験のほうがより顕著に表面含浸材の遮塩効果が示される結果となった。これは，室内促進試験が浸漬による方法であったのに対し，暴露試験は飛来塩分を受ける環境であったことなどが影響を及ぼしていることが考えられ，表面含浸材を海中で適用するよりも海上大気中や飛沫帯で適用する方がより高い遮塩性を発揮する可能性が高いことが示唆される。

3.5 中性化抑制性

交通量の多い国道 357 号に面し，雨の当たりにくい場所（東京：平成 14 年 175,752 台/日）と冬季に強い季節風が吹く沿岸部（親不知）における暴露 1 年後と 2 年後の中性化深さおよび室内促進試験の結果を図－６に示す。

親不知での暴露試験や室内促進試験では，ほぼ全ての表面含浸材を塗布した試験体はブランクよりも中性化が進行していた。一方，東京での暴露試験では，ブランクよりも中性化が抑制される傾向が，特に暴露 1 年後で認められた。一般に，コンクリートの中性化速度は，二酸化炭素の侵入と細孔溶液中の炭酸化反応が両方生じると考えられる相対湿度 60%程度において最高となり，それより相対湿度の低い範囲および高い範囲では低くなることが知られている[3)]。表面含浸材を塗布した試験体は，外部からの水の浸透を抑制して水蒸気を放出するため，環境条件によらずコンクリート中の水分量がほぼ一定の値に抑制され，中性化速度がほぼ一定の値となる，一方，ブランクは，環境条件に応じてコンクリート中の水分量が変化するため，中性化速度が変化するものと考えて，本試験の結果を考察すると，相対湿度が低い室内促進試験および相対湿度が高い沿岸部に位置する親不知の暴露試験では，ブランク試験体の中性化速度が



図－６　中性化深さ

低くなり，表面含浸材を塗布した試験体の方が中性化の進行が著しくなったものと考えられる。一方，雨の影響を受けにくい東京では，中性化が進行しやすい相対湿度となり，ブランクの中性化速度が高くなることによって，表面含浸材を塗布した試験体の中性化の進行が抑制される結果になったものと考えられる。このことは，親不知と東京におけるブランクの中性化深さに大きな違いがあるのに対し，表面含浸材を塗布した試験体の中性化深さにほとんど差がないことからも推察される。本試験の結果を踏まえると，表面含浸材は，著しく中性化が進行する相対湿度において中性化抑制効果を発揮し，極端に乾燥している条件や湿度の高い条件では，若干中性化を進行させる可能性があることが考えられる。いずれにせよ，コンクリート構造物において中性化が問題となるのは鉄筋が腐食するためであり，塗布含浸材によってコンクリート中の水分量が抑制されることから，鉄筋腐食を抑制して構造物の損傷を抑制することができるものと考えられる。

４．まとめ

NII-Electronic Library Service

Japan Concrete Institute

表面含浸材のコンクリート構造物に対する性能評価方法の確立と耐久性評価を目的として，16 種類の表面含浸材を塗布したコンクリート試験体を用い 2 年間の暴露試験および室内促進試験を行った結果，以下のことが明らかとなった。

1）表面含浸材をコンクリート試験体に塗布しても著しい外観変化は生じず，またシラン系やシリコーン系，その他樹脂系では，初期に表面撥水性が観察された。つくば，朝霧，親不知および沖縄で 2 年間暴露した試験体の大部分は，塗布時とほぼ同様の外観を維持していたが，表面撥水性は低下していた。一方，東京での暴露では試験体表面が暗色化し，撥水性を維持していた。しかしブランクでも僅かに撥水が認められており，自動車排気ガスなどの油性成分汚れによる撥水の可能性が示唆された。

2）シラン系やシリコーン系の表面含浸材の中には，コンクリート表面から 3mm 以上の含浸層を形成するものがあった。その他の材料は概ね 2mm 以下の含浸層が観察されたが，含浸層の厚さにはばらつきが多く認められた。

3）表面含浸材を塗布したコンクリート試験体はブランクに比べ大幅に透水性を抑制した。その抑制の程度は表面含浸材の含浸深さと相関が認められたことから，遮水性効果を高めるためには，材料を深く浸透させることが重要である。

4）大部分の表面含浸材は，遮塩効果を示した。特に，ブランクと比較した時，表層 0-10mm よりも 10-20mm や 20-30mm の内部での低下割合が大きいものであった。このことより，表面含浸材は，塩化物イオンの浸透を完全に遮断するものではないが，内部への浸入速度を抑制することが可能な材料と考えられる。また，室内促進試験に比べて、沖縄暴露試験体の遮塩性効果が大きかったことから，表面含浸材の遮塩効果は海中よりも海上大気中や飛沫帯においてより顕著であると推測する。

5) 表面含浸材を塗布したコンクリート試験体は，東京での暴露では中性化を抑制する効果が認められたが，親不知での暴露や室内促進試験では，ブランクよりも中性化程度が進んでいるものが多くあり，表面含浸材の中性化抑制効果は湿度などの外部条件で大きく変化した。

5．おわりに

本試験は，浸透性コンクリート保護材研究会として，アトミクス（株），鹿島建設（株），日本ＲＣＧ（株），日本ペイント販売（株），中国塗料（株），大日本塗料（株），関西ペイント販売（株），住友精化（株），ダイキン工業（株）および旭化成ワッカーシリコーン（株）の各社が実施したものである。

参考文献

1) 久保善司，本間英世，服部篤史，宮川豊章：シラン系表面処理の再補修効果について，コンクリート構造物の補修，補強，アップグレードシンポジウム論文報告集，Vol.2，pp.35-42，2002.10

2) 石川一郎，守屋進，杉田好春：浸透性吸水防止材の評価試験方法の検討，第 25 回日本道路会議，2003.11

3) 日本コンクリート工学協会：コンクリート診断技術 03，2003.4

NII-Electronic Library Service